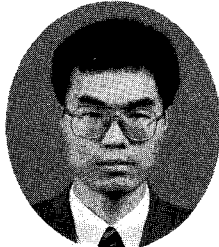


# 생물학적 공정에서 철의 전기분해를 이용한 오·폐수 중 질소와 인의 제거

〈4〉



김복현

국립환경연구원 수질연구부

## 목 차

- I. 서론
- II. 연구방법
  - 1. 실험장치 및 운전조건
  - 2. 분석항목 및 방법
  - 3. 자료분석
- III. 연구결과 및 고찰
  - 1. 예비실험
  - 2. 인제거실험
  - 3. 질소제거실험
- IV. 결론
- V. 참고문헌

### 3.2. 인제거실험

3.2.1. 연속식 활성슬러지 공정에서 철봉의 유효표면적과 인부하량 변화에 따른 영향

본 실험에서는 예비실험의 결과를 토대로 하여 연속식 활성슬러지 공정중 폭기조에 투입한 철봉에 3V의 전압을 적용하여 철의 전기분해에 의한 인과 기질제거율을 조사하였다. 인제거를 위한 철봉의 최적 유효표면적 산출을 위해 반응조에 투입된 철의 유효표면적과 유입수중 인의 농도 변화에 따른 인제거 효율과 석출된

철산화물이 기질제거율과 미생물의 활성도 및 슬러지 침강성 등에 미치는 영향을 조사하였다. 반응조내에 투입된 철봉의 단위표면적당 인부하량에 따른 인제거효율을 조사하기 위한 실험은 인부하량이 0.67~90mgP/cm<sup>2</sup> 철봉-day인 범위에서 시행되었다. 활성슬러지 반응조에 유입된 유입수의 평균 인의 농도는 24~94mg/l 범위였으며, 평균 TCOD 농도는 약 577~950mg/l 범위였다.

3.2.1.1. 철봉의 단위표면적당 인부하량에 따른 인제거 효율

Group No.1에서 반응조의 수리학적 체류시간(HRT)과 고형물 체류시간(SRT)의 운전조건은 12시간, 3일로 하였으며, 유입수중 인의 농도는 인산이수소칼륨(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)을 투여하여 약 25mg/l로 조정하였다. 실험기간동안 활성슬러지 반응조에 유입된 유입수의 평균 TCOD와 NH<sub>3</sub>-N의 농도는 각각 약 579mg/l와 68mg/l였다.

반응조내에 투입된 철봉의 단위표면적당 인부하량에 따른 인 제거효율을 조사하기 위한 실험은 투입된 철봉의 유효표면적을 반응조에 따라 변화시켜 인부하량이 0.67~2.67mgP/cm<sup>2</sup> 철봉-day인 범위에서 시행되었다. 반응조에 투입된 양극철봉의 유효표면적은 반응조 No.1, No.2, No.3에 각각 360cm<sup>2</sup>, 180cm<sup>2</sup> 및 90cm<sup>2</sup> 등

으로 음극철의 유효표면적은 반응조 모두에서  $40\text{cm}^2$ 로 하고, 반응조에 투입된 양극과 음극의 철봉을 고정시킨 상태에서 양극철봉에서만 철산화물이 계속적으로 석출 되도록 하였다.

Group No.1 반응조의 운전결과는 표 3.3에 나타내었다. 특히 운전기간중 F/M비는 철봉을 투입한 반응조 No.1 No.2 및 No.3에서 각각 0.76, 0.87,  $0.98\text{kgCOD/kgMLVSS-day}$ 였고, 철봉을 투입하지 않은 대조반응조에서는  $1.08\text{kgCOD/kgMLVSS-day}$ 이었다.

표 3.3. Test results of P removal efficiency with the various P loading to effective surface area of iron bar in an activated sludge reactor.

Parameter	Group No.1				Group No.2				Group No.3				
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4	
Effective surface area of iron, $\text{cm}^2$	360	180	90	-	35	35	35	-	15	15	15	-	
$\text{mgP/cm}^2 \cdot \text{Iron bar day}$	0.67	1.33	2.67	-	40.3	21.9	10.7	-	90	48	25	-	
$\text{PO}_4\text{-P}$ , $\text{mg/l}$	Influent	24	24	24	24	94	51	25	24	90	48	25	25
	Effluent	2.1	2.3	2.9	17.6	19	9	2	17	27	16	6	16
	R.E.(%)	91	90	88	27	80	82	92	29	70	67	76	36
F/M( $\text{kgCOD/kgMLVSS}$ )	0.76	0.87	0.98	1.06	1.03	1.13	1.03	1.69	1.47	1.11	0.86	1.13	
Total Fe, $\text{mg/l}$	52.9	39.5	22.1	-	83	96	131	-	59	60	74	-	
MLSS, $\text{mg/l}$	3,219	2,643	2,183	1,377	5,984	5,668	6,230	2,058	4,720	4,173	4,490	2,222	
$\text{mgVSS/mgMLSS}$ Ratio	0.48	0.51	0.54	0.78	0.46	0.44	0.44	0.82	0.43	0.43	0.43	0.76	
HRT, hr(SRT, day)	12(3)	12(3)	12(3)	12(3)	8(6)	8(6)	8(6)	8(6)	8(6)	8(6)	8(6)	8(6)	

대조 반응조의 F/M비가 높게 유지된 원인은 활성 슬러지의 침강성이 매우 불량하여 침전지로 부터 슬러지가 처리수와 함께 유출되어 MLSS 농도가 낮은 상태에서 반응조가 운전되었기 때문이다. 이렇게 슬러지 침

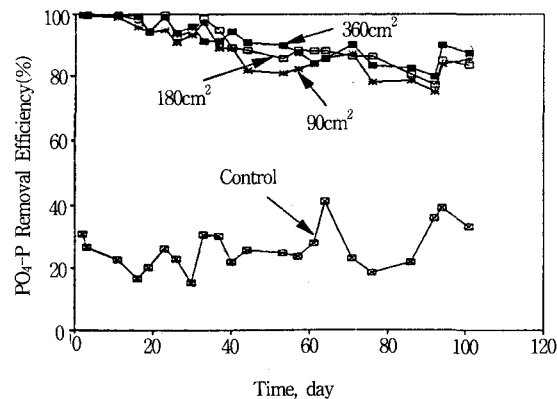


그림 3.6. Variations of soluble  $\text{PO}_4\text{-P}$  removal efficiency with time and the effective surface area of iron bar.

강성이 나쁜 이유는 유입수의 입자상 유기물질 농도가 높고, 성상의 변화 때문인 것으로 사료된다.

Group No.1 반응조들의 인제거 효율은 그림 3.6에서 처럼 실험 초기철의 석출량이 높은 기간에는 약 95% 이상을 보였으나, 운전 40일이 경과된 이후에는 제거율이 점차 낮아졌다.

이러한 원인은 실험운전 기간이 경과됨에 따라 철봉의 철산화물이 수용액으로 과포화 용해되어 철표면과 용액 사이에 작용하는 전위차 에너지가 감소되었기 때문에 철의 석출량이 상대적으로 낮아졌기 때문이다.

철봉표면을 이온화시키는 전위차의 감소로 인한 철의 석출량 감소는 시간에 따른 인의 제거율을 저하시켰기 때문에 실험 후반에서는 약 80%의 제거효율로 줄어 들었다.

그러나 약 3개월 반 동안의 운전기간중 전체 평균 인 제거율은 약 90%를 보여주어 석출된 철산화물이 반응조에 유입된 용해성 인을 높은 효율로 제거시킬 수 있음을 보여주었다.

반면에 철봉을 투입하지 않은 대조 반응조 No.4의 평균 인제거율은 약 27%였고, 이때 처리수중 인농도는  $17.6\text{mg/l}$ 로 높게 나타나 철을 투입한 반응조 보다 인의 제거율이 매우 낮게 나타났다( $F=446.90$ ;  $df=3,82$ ;  $p<0.01$ ). 이때 철을 투입한 반응조에서 철봉의 유효표면적의 크기에 관계없이 인제거율이 88~91% 범위로 거의 유사하게 나타난 원인은 반응조에 투입된 철의 유효표면적이 인의 부하량에 비해 너무 높게 선택되어 석출된 철산화물이 과다하였기 때문이다. 결과적으로 철산화물 단위 중량당 제거된 용해성 인의 양은 상대적으로 매우 낮았다.

Group No.1 반응조에 투입된 철봉의 유효표면적의 변화에 따른 처리수중 철의 농도의 변화는 그림 3.7에 나타내었다.

실험 초기 철의 석출량이 높은 기간에 처리수의 철농도가 최고  $1.8\text{mg/l}$ 로 증가됨과 동시에 처리수중 색도가 일시적으로 높아졌으나, 이후 시간이 경과함에 따라 평균 철농도가 약  $0.3\text{mg/l}$  이하로 낮아지며 색도 문제도 관찰되지 않았다.

Group No.1 반응조에서 반응조에 석출된 철의 농도는 양극의 철전극에 3V의 직류전류를 적용한 실험 운전 15일 기간에 이르러 철산화물의 석출량이 반응조 No.1에서 크게 증가되었다. 이때 처리수중 적갈색의

FeO·nH<sub>2</sub>O 철산화물이 증가되어 색도문제가 일시적으로 관찰되었다. 반면에 실험 15일 운전기간 이후에는 점차 철표면의 이온화가 느리게 진행되어 석출된 철의 평균농도가 약 20mg/l 정도로 줄어든 상태로 일정하게 유지되는 경향을 보여주었고, 이때 처리수중 철산화물이 크게 석출되지 않아 색도증가 현상은 더이상 관찰되지 않았다.

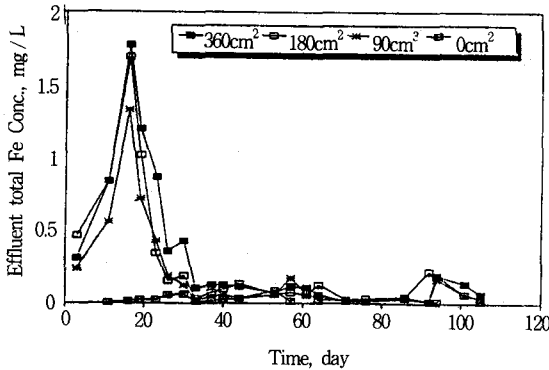


그림 3.7. Variations of total iron concentration in effluent with time and effective surface area of iron bar.

이러한 원인은 항상 전극의 흐름 방향을 양극에서 음극의 철전극으로 고정시킨 실험조건에서 시간이 경과됨에 따라 석출된 철이온과 수중의 탄산염이 음극 철봉 표면에 스케일(scale) 형성속도를 증가시켰기 때문이다. 이것이 시간이 경과됨에 따라 철표면의 피막형성과 철의 불균일한 부식표면들의 작용 때문에 양극철봉에서 받아들이는 전자의 양이 상대적으로 줄어들어 철의 석출량도 줄어든 것이다. 이러한 작용은 반응조에 투입된 철표면에서 적갈색의 FeO·nH<sub>2</sub>O 철산화물이 부식되면서 점차 2가 및 3가 철이온을 공유하고 있는 입자성 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>로 전환됨에 따라 철표면이 검은색으로 변화된 상태에서 철전극의 이온화가 저하되었기 때문에 철봉표면에 스케일(scale)이 부착된 실험적 관찰과 일치하였다(Orthmer, K, F, 1967; Bard A.J., 1982; Groterud, O., Smoczynski, L., 1986). 그러므로 실험 운전기간이 경과됨에 따라 음극의 철표면에 탄산염의 scale이 두껍게 형성된다면 양극과 음극철 전극에 작용하는 전기화학 당량 석출된 철의 양이 운전초기 보다 상대적으로 적게 석출되기 때문에 이 기간의 인 제거

효율도 감소될 수 있다는 것을 보여주었다.

적용된 전압세기에서 반응조에 투입된 철의 유효표면적이 클수록 철표면에서 석출되는 철의 양이 상대적으로 높았기 때문에 Group No.1 반응조들중 No.1, No.2 및 No.3에 석출된 철의 평균농도는 각각 53mg/l, 40mg/l 및 22mg/l였다. 이때 석출된 철산화물 당 제거된 인의 양은 반응조에 투입된 철봉의 유효 표면적이 가장 적은 반응조 No.3에서 약 1.0mgP/mgFe 인데 비하여 철봉의 유효표면적이 가장 큰 반응조 No.1에서는 0.414mgP/mgFe로 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 차이는 반응조에 투입된 철봉의 유효표면적이 증가함에 따라 석출된 철의 양도 증가되어 반응조내 철산화물당 제거된 인의 양은 유효표면적이 큰 반응조에서 낮은 것으로 나타났다. 이때 반응조에 투입된 철봉의 유효표면적이 가장 작은 90cm<sup>2</sup>인 반응조 No.3에서도 인제거율이 평균 88% 정도로 높게 관찰되어 반응조에 투입된 철의 유효표면적을 유입수 인의 농도에 비하여 너무 크게 결정된 것으로 판단되었다. 이러한 결과로 반응조에 유입되는 인부하량에 상응하여 투입되는 철봉의 유효표면적을 더 작게 유지한 조건에서도 인이 효과적으로 제거될 수 있을 것으로 판단되어 Group No.2와 Group No.3 반응조의 실험에서 인위적으로 철봉의 유효표면적을 35cm<sup>2</sup>와 15cm<sup>2</sup>로 크게 줄인 조건에서 실험하였다.

Group No.2에서 반응조의 수리학적 체류시간(HRT)과 고형물 체류시간(SRT)의 운전조건은 8시간, 6일로 하였다. 유입수의 인 농도는 철봉이 투입된 반응조 No.1, No.2, No.3에 인산이수소칼륨(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 투입량을 조절하여 각각 약 100mg/l, 50mg/l, 25mg/l 등으로 유지하도록 하였으며, 철봉이 투입되지 않은 대조 반응조 No.4의 유입수 인 농도는 약 25mg/l가 되도록 하였다. 이때 활성슬러지 반응조에 유입된 평균 TCOD와 NH<sub>3</sub>-N의 유입수 농도는 약 951mg/l와 103mg/l였다.

실험에 사용된 철봉의 유효표면적은 Group No.1 실험에 사용된 철봉의 유효표면적중 제일 작은 것의 약 1/3에 해당하는 35cm<sup>2</sup> 크기의 양극과 음극철봉을 투입하였고, 음극의 철봉에 scale 피막이 형성되는 것을 방지하면서 철봉표면에서 균일한 이온화가 일어나도록 양극과 음극으로 사용된 철봉을 교대로 음극철봉은 양극철봉으로, 양극철봉은 음극철봉으로 바꾸어 사용하였

다. Group No.2 반응조의 운전결과는 표 3.3에 나타나 있었다. 운전기간중 F/M비는 철분을 투입한 반응조 No.1, No.2 및 No.3에서 각각 1.03, 1.13, 1.03kgCOD/kgMLVSS-day였고, 철분을 투입하지 않은 대조 반응조에서는 1.69kgCOD/kg MLVSS-day이었다. 이때, 대조 반응조의 F/M비가 높게 산출된 원인은 활성슬러지의 침강성이 매우 불량하여 침전지로부터 슬러지가 처리수와 함께 유출되어 MLSS 농도가 낮은 상태에서 반응조가 운전되었기 때문이다. 이렇게 슬러지 침강성이 나쁜 이유는 유입수의 입자상 유기물질 농도가 높고, 유입수 성상의 변화 때문인 것으로 사료된다.

용해성 인의 평균제거율은 그림 3.8에서 처럼 인부하량이 가장 낮은 반응조 No.3에서 92%로 가장 높았으며, 이때 반응조내 철의 평균농도는 131mg/ℓ이었다 ( $F=182.96$ ;  $df=3,32$ ;  $p<0.01$ ).

또한 반응조 No.1, No.2에서의 평균 인 제거율은 석출된 철의 농도가 83~96mg/ℓ 인 조건에서 80~82%로 나타났고, 반응조 No.3에서는 석출된 철의 평균 농도가 131mg/ℓ 인 조건에서 92%로 나타났다. 반면에 철을 투입하지 않은 대조 반응조에서는 29%로 나타나 반응조에 유입되는 인부하량에 거의 관계없이 철을 투입한 반응조에서 인 제거율이 매우 양호함을 알 수 있었다.

이때 철봉표면에서 석출된 철의 평균농도는 유입되는 용해성 인의 농도가 높을수록 낮은 결과를 보여주었

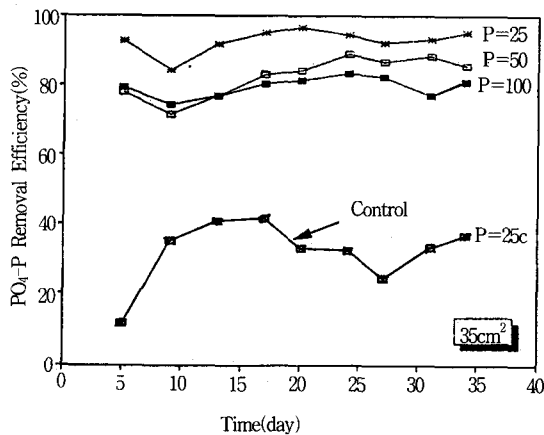


그림 3.8. Variations of P removal efficiency with time and various P loading to the iron bar of effective surface area of 35cm<sup>2</sup>

철산화물의 표면적당 흡착될 수 있는 인의 양이 한정되어 있어 석출된 철의 양에 따라 인 제거량은 고정되어 있고, 또한 철봉 유효표면적당 인의 부하량이 높을수록 철이 이온화되는 양극 철봉표면에 용해성 인의 반응 몰수가 높게 유지되며 전기화학당량을 유지하는 전위차가 감소되어 철의 이온화율도 감소됨을 알 수 있다.

다. 이러한 원인은 철이 석출되는 양극의 철봉표면에 용해성 인의 반응몰수가 높게 유지되어 전기화학당량을 유지하는 전위차 에너지가 감소되었기 때문에 철의 이온화율도 감소되었기 때문이다.

반응조에 투입된 철봉의 유효표면적을 작게 유지한 Group No.2 반응조가 Group No.1 반응조 보다 철의 농도가 높게 나타났는데 이는 Group No.2 반응조에서는 시간이 경과됨에 따라 음극 철표면에 피막이 형성되어 양극 철표면에서 이온화율이 저하되는 것을 인위적으로 방지하기 위하여 1일 주기로 양극과 음극으로 사용된 철봉의 극을 교대로 바꾸어 주었기 때문이다.

Group No.2의 실험결과, 철의 석출량이 높은 초기의 운전기간중에는 처리수가 붉은색의 색도를 나타냈으나, 운전 7일 이후에는 처리수의 색도가 대조 반응조와 동일하게 양호하였다.

그러나 실험운전기간중 철산화물의 1mg당 제거된 인의 양은 반응조 No.1~No.3에서 각각 0.18~0.90 mgP/mgFe로 유지되었기 때문에 유입수중 인의 농도가 높을수록 석출된 철산화물의 양이 비효율적으로 반응됨을 보여주었다. 또한 철봉표면의 전기적 이온화율을 균일하게 유지하였기 때문에 철의 석출량이 Group No.1에 비해서 높게 나타났기 때문에 1일 생성되는 폐슬러지의 발생량이 문제시 되었다. 그러므로 Group No.3 반응조의 실험조건에서는 활성슬러지 공정에도 투입되는 철봉의 유효표면적을 더 작게 유지한 조건에서도 석출된 철과 인이 효과적으로 제거되는지를 알아보았다.

Group No.3에서 반응조의 수리학적 체류시간(HRT)

과 고형물 체류시간(SRT)의 운전조건은 8시간, 6일로 하였다. 유입수의 인농도는 철봉이 투입된 반응조 No.1, No.2, No.3에 인산이수소칼륨(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)의 투입량을 조정하여 각각 약 100mg/l, 50mg/l, 25mg/l 등으로 유지하였으며, 철봉이 투입되지 않은 대조 반응조의 유입수 인 농도는 약 25mg/l가 되도록 하였다. 이때 활성슬러지 반응조에 유입된 유입수중 평균 TCOD와 NH<sub>3</sub>-N의 농도는 약 619mg/l와 61mg/l였다. 실험에 사용된 철봉의 유효표면적은 Group No.2 실험에 사용된 철봉의 유효표면적의 약 1/2에 해당하는 15cm<sup>2</sup> 크기의 양극과 음극철봉을 투입하였고, 음극의 철봉에 scale 피막이 형성되는 것을 방지하면서 철봉표면에서 균일한 이온화가 일어나도록 양극과 음극으로 사용된 철봉의 극을 교대로 바꾸어 주었다.

Group No.3 반응조의 운전결과는 표 3.3에 나타내었다. 운전기간중 F/M비는 철봉을 투입한 반응조 No.1, No.2 및 No.3에서 각각 0.91, 1.04, 0.963kgCOD/kgMLVSS-day였고, 철봉을 투입하지 않은 대조반응조에서는 1.09kgCOD/kgMLVSS-day이었다. 이때 대조 반응조의 F/M비가 높게 산출된 원인은 활성슬러지의 침강성이 매우 불량하여 침전지로부터 슬러지가 처리수와 함께 유출되어 MLSS 농도가 낮은 상태에서 반응조가 운전되었기 때문이다.

Group No.3 반응조들의 용해성 인의 평균제거율은 그림 3.9에서 처럼 인부하량이 낮은 반응조 No.3에서 석출된 철의 평균농도가 74mg/l 인 상태에서 76%로 가장 높았다.

또한 인부하량이 높은 반응조 No.1과 반응조 No.2에서 석출된 철의 평균농도가 각각 59mg/l, 60mg/l 인 상태에서 70%와 67%로 나타났다. 반면에 철봉이 투입되지 않은 대조 반응조에서는 유입수의 인농도가 약 25mg/l인 조건에서 36%로 나타났다(F=165.58; df=3,40; p<0.01).

이때 운전 30일 이후의 인 제거효율은 모든 반응조에서 유입되는 인부하량에 거의 관계없이 약 70% 정도로 감소됨을 보여주었다. 이러한 원인은 Group No.1 반응조의 운전초기부터 사용된 철봉의 유효표면적이 운전기간이 경과됨에 따라 철표면이 거의 다 부식되어 상대적으로 유효표면적이 작아진 상태에서 철의 석출량이 줄어들었기 때문이다.

그러나 철을 투입한 반응조의 인 제거율은 앞의 실험결과와 동일하게 반응조에 유입되는 인부하량에 거의 관계없이 매우 양호함을 보여주었다. 이러한 원인은 양극 철표면에서 부식율이 저하되는 것을 인위적으로 막기 위하여 1일 주기로 전극을 바꾸어 준 상태에서 실험을 실시하였기 때문이다.

유효표면적 변화에 따른 인 제거에 관한 실험결과는 반응조에 투입된 철의 유효표면적이 15cm<sup>2</sup>인 상태에서는 철의 석출량당 제거된 용해성 인의 양은 반응조 No.1~No.3에서 0.26~1.27mgPO<sub>4</sub>-P/mgFe 범위로 나타났고, 철의 유효표면적을 높게 유지한 Group No.1~No.2 반응조에서는 0.18~0.95mgPO<sub>4</sub>-P/mgFe 범위로 나타났다. 이것은 유효표면적이 15cm<sup>2</sup>인 반응조에서 석출된 철산화물의 양이 철봉의 유효표면적을 높게 유지한 반응조보다 용해성 인과 효과적으로 반응되었음을 보여준다.

그러므로 인제거를 위해 반응조에 투입한 철의 최적 유효표면적은 석출된 철산화물 당 제거되는 용해성 인의 양, 석출된 철산화물의 증가에 따른 폐슬러지 생산량 등을 고려하여야 하겠다.

연속적 활성슬러지 공정에서 반응조에 투입된 철봉의 최적 유효표면적당 인부하량에 따른 인 제거율의 산정은 표 3.3의 자료를 이용하여 산출하였으며, 그 결과는 그림 3.10에 나타내었다. 실험적 인 제거율은 등식 (3.1)에서 처럼 철봉의 유효표면적당 인부하량이 증가할수록 감소되는 경향을 보여주었다.

$$RE = -0.27LS + 89.0 (r=0.85) \quad (\text{식 3.1})$$

RE=요구되는 용해성 인제거율, %

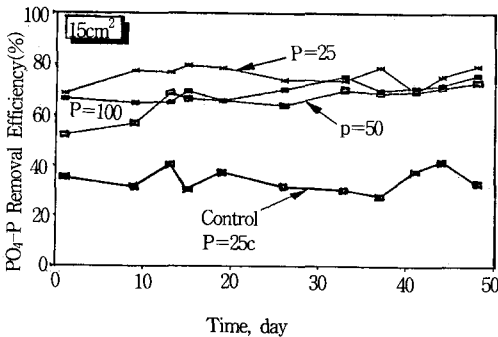


그림 3.9. Variations of P removal efficiency with time and various P loading to the iron bar of effective surface area of 15cm<sup>2</sup>

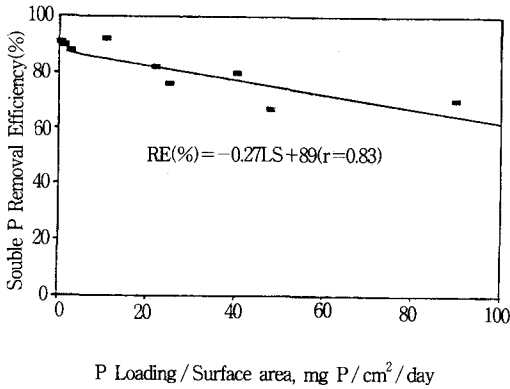


그림 3.10. Relationship between soluble P removal efficiency and P loading to the effective surface area of iron bar.

LS=철 유효표면적당 인부하량, mgP/cm<sup>2</sup>/일

이러한 원인은 철산화물의 표면적당 흡착될 수 있는 인의 양이 한정되어 있어 석출된 철의 양에 따라 인 제거량은 고정되어 있고, 또한 철봉 유효표면적당 인의 부하량이 높을수록 철이 이온화되는 양극 철봉표면에 용해성 인의 반응 몰수가 높게 유지되며 전기화학당량을 유지하는 전위차가 감소되어 철의 이온화율도 감소되기 때문이다. 그림 3.8에 나타낸 바와 같이 철의 전기분해 작용에 의해 용해성 인의 제거율을 증가시키기 위해서는 반응조에 투입되는 철봉의 유효표면적을 증가시켜 주어야 한다. 그러나 실험운전 결과 반응조에 투입된 철봉의 유효표면적을 증가시키면 석출된 철산화물에 의한 처리수중 색도유발 및 철산화물에 의한 폐슬러지의 생성량이 증가되기 때문에 이에 대한 방안이 강구되어야겠다.

철의 전기분해를 이용한 생물학적 처리과정중 투입되는 철봉의 최적의 유효표면적의 산출은 등식을 이용하여 구할수 있다.

만약에 반응조에 유입되는 유량과 인의 농도가 각각 15 l/day, 25mg/l 이고 설계 안전계수(safety factor)가 1.3인 조건에서 인의 제거율은 약 80%로 할 경우, 다음의 단계에 따라 철봉의 유효표면적을 산출할 수 있다. 먼저 설정된 인의 제거효율을 등식(3.1)에 대입하면 반응조에 투입된 철봉의 유효표면적당 인부하량이 약 33mgP/cm<sup>2</sup>/day가 됨을 알수 있다. 이때 산출된 철봉의 유효표면적당 인부하량, LS, mgP/cm<sup>2</sup>-day과 설

계인자, 유입유량, 농도, 안전계수 등을 등식(3.2)에 대입하면 반응조에 투입되는 철봉의 최적 유효표면적(A, cm<sup>2</sup>)이 약 15cm<sup>2</sup>가 됨을 알 수 있다.

$$A=(Q * Cp) / LS * F \quad (\text{식 3.2})$$

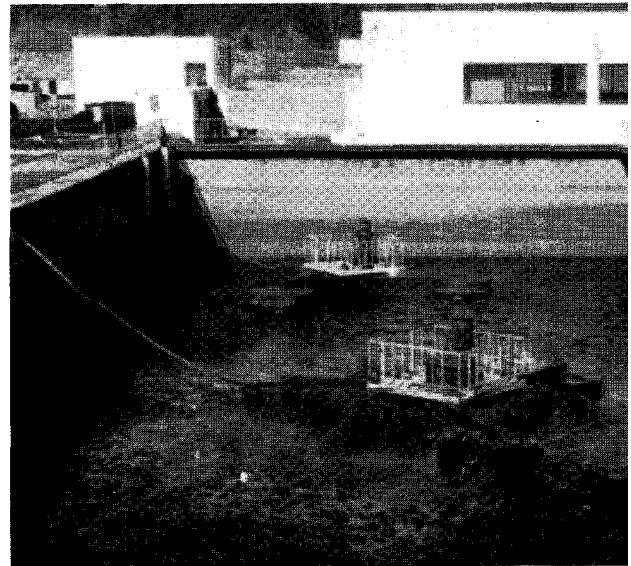
Q=유입유량, l/일

Cp=유입수중 인농도, mg/l

LS=철유효표면적당 인부하량, mgP/cm<sup>2</sup>/일

F=설계안전계수

활성슬러지 공정에 철봉의 전기분해를 이용하여 유입수의 인 제거를 시도할 때 반응조내의 산화철로 인한 총부유물질 농도증가와 색도유발 문제가 우려되므로



위의 문제를 해결하기 위해서는 등식(3.2)에 의하여 산출된 최적 유효표면적의 철봉을 투입하여야 함을 알 수 있었다.

철봉의 유효표면적당 인부하량 변화에 따른 실험 결과, 반응조에 투입될 수 있는 철봉의 최적 유효표면적은 실제 요구되는 인 제거율에 의하여 산출될 수 있다. 이때, 산정된 최적의 유효표면적을 투입한 실험조건에서 석출된 철산화물과 제거되는 인의 반응은 효과적으로 진행되어 과잉 석출시에 문제되는 폐슬러지의 발생량을 최소화 시킬 수 있다고 판단되었다. 또한, 운전기간이 지속됨에 따라 철표면에 scale이 형성되어 부식율이 저하되는 것을 방지하여 철전극의 표면에서 철이온의 석출율을 일정하게 유지하기 위해서는 1일 주기로 철전극을 교대로 바꾸어 주어야 함을 알 수 있었다.